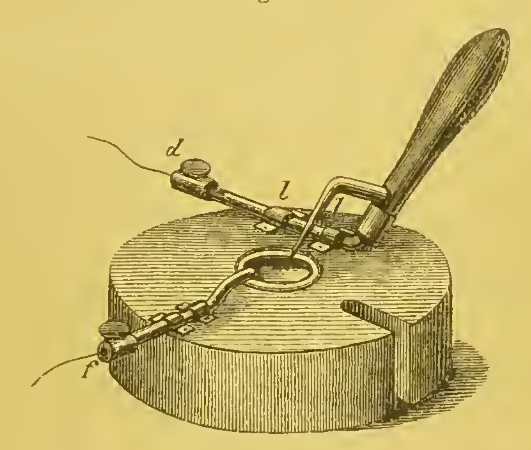
LV. *Fortgesetzte Beschreibung neuer Vorrichtungen für Zwecke der allgemeinen Nerven- und Muskelphysik;*[1]) *von E. du Bois-Reymond.*

I. Der Quecksilberschlüssel.

Hr. Poggendorff war es bekanntlich, der in die galvanische Technik an Stelle der bis dahin üblichen Quecksilbernäpfe, in welche verquickte Kupferhaken tauchten, die unter dem Namen Klemmschrauben gebräuchlichen festen Verbin-


Fig. 1.



dungen einführte:[2]) eine Verbesserung, die man erlebt haben muss, um den dadurch gemachten Fortschritt zu würdigen. Die Klemmschrauben haben aber den Nachtheil, kein schnelles und regelmässiges Schliessen und Oeffnen des Kreises zu erlauben. Man braucht dazu beide Hände, und muss wenigstens beim Schliessen hinsehen, so dass man nicht zugleich beob-

1) Vergl. E. du Bois-Reymond, Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken. Aus den Abhandlungen der Berliner Akademie 1862. Berlin 1863. 4°. — Anleitung zum Gebrauch des runden Compensators. Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1871. S. 608. — Sämmtliche in gegenwärtigem Aufsatze beschriebene Vorrichtungen liefert die Werkstatt des Hrn. Otto Plath (Sauerwald) in Berlin in gewohnter Vollkommenheit.

2) Diese Annalen, 1840. Bd. XLIX. S. 39.

achten kann. Dies führte später zur Construction des nach Analogie des Organs am Morse'schen Telegraphen sogenannten Schlüssels[1]), der zum Unterschiede von dem bei chronoskopischen Beobachtungen üblichen Federschlüssel genauer als Vorreiberschlüssel[2]) zu bezeichnen ist. Dieser Schlüssel leistet zwar treffliche Dienste; er hat aber, worauf ich übrigens gleich bei dessen Beschreibung hinwies, den Fehler, dass sein Widerstand schwankt, daher er in gut leitenden Kreisen oft nicht anwendbar ist. Alsdann empfiehlt es sich, zum Quecksilber zurückzukehren, so jedoch, dass auch hier Schliessen und Oeffnen ohne hinzusehen in hinlänglich gleicher Art geschehen kann. Wo beim Schluss in Quecksilber höchste Gleichmässigkeit verlangt wird, ist der elektromagnetische Fallhammer am Platze.[3]) Für viele Zwecke reicht die in Fig. 1 abgebildete Anordnung aus, die ich den Quecksilberschlüssel nenne. Sie ist minder umständlich als der Fallhammer, und auch für Oeffnung des Kreises zu benutzen. In einer kreisrunden Holzscheibe, die man mit einer Flügelschraube am Tisch befestigt, ist ein Porzellannäpfchen eingelassen, und nimmt das Quecksilber auf. Zwei starke Kupferdrähte tauchen mit verquickter Spitze in's Quecksilber, und endigen andererseits in Klemmschrauben. Einer dieser Drähte (f) ist fest, der andere (d) lässt mittels eines hebelartig daran befestigten, isolirenden Handgriffes so um seine Axe sich drehen, dass seine verquickte Spitze in das Quecksilber bald eintaucht, bald nicht. Die Drehung geschieht in den Lagern l, l. mit soviel Reibung, dass die Torsion des bei d eingespannten Zuleitungsdrahtes den Hebel nicht zu drehen vermag.

II. Die Doppelwippe.

Hr. Poggendorff hat bei seinen sinnreichen Versuchen über galvanische Polarisation[4]) meines Wissens zuerst Wippen

1) Beschreibung einiger Vorrichtungen u. s. w. S. 102.

2) *Levier-clef* bei Hrn. Marey, Du Mouvement dans les Fonctions de la Vie. Paris 1868. p. 317. 318.

3) Vergl. Pflüger, Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus. Berlin 1859. S. 110.

4) Diese Annalen, 1844. Bd. LXI. S. 586.

gebaut, die verwickeltere Aufgaben lösten, als nur, wie der Ampère'sche und Pohl'sche Stromwender, den Strom in einer Strecke seiner Leitung umzukehren. Seitdem wurden vielfach Wippen zu besonderen Zwecken angegeben, und jeder Elektriker verfertigt sich gelegentlich die gerade nöthige Form. Eine Aufgabe indess kehrt, gleich der blosser Stromumkehr, so oft wieder, dass es sich lohnt, das Organ zu ihrer Lösung jederzeit bereit zu haben. Es ist die, zwei Stromstrecken mit einander zu vertauschen. Die Bedeutung dieser Aufgabe wird klarer in dem besonderen Falle, wo meine sogenannte Doppelwippe mir in meinen Vorlesungen so gute Dienste leistet, dass ich sie den Fachgenossen als nützliche Bereicherung unseres Apparates empfehlen darf.

Der Einfluss, den Anelektrotonus und Katelektrotonus des Nerven nach Hrn. Pflüger auf die Erregbarkeit üben, lässt sich bekanntlich nicht leichter als auf die von Hrn. Rosenthal eingeführte Art nachweisen, nämlich durch den verschiedenen Abstand der Nebenrolle von der Hauptrolle des Schlitteninductoriums, bei dem die ersten Zuckungen erscheinen. Nachdem man nun z. B. Anelektrotonus und Katelektrotonus in der centropolaren Strecke gezeigt hat, soll dasselbe in der myopolaren Strecke geschehen, d. h. die vorher elektrotonisirte Strecke ist in den Kreis der tetanisirenden Nebenrolle, die vorher tetanisirte Strecke in den der elektrotonisirenden Kette, zwischen die Endklemmen des Rheochords, aufzunehmen. Da hierbei nicht blos ein Irrthum, sondern auch eine Verrückung des Nerven auf den Elektroden des Rosenthal'schen Troges[1]) leicht vor-

1) Der Rosenthal'sche Trog ist eine nach dem Principe meiner „feuchten Reizungsröhre" (Beschreibung u. s. w. S. 146) gebaute Zuleitungsvorrichtung für Reizversuche, die aber, statt nur Ein Elektrodenpaar, deren vier, jedes mit entsprechendem Klemmenpaare, besitzt. Der Trog ist aus Kammmasse. Denkt man sich ihn als Boot — er gleicht in der That ganz einem sogenannten Einbaum — so stellen die Elektrodenpaare die Ruderbänke vor. Vom Schnabel des Bootes her, der dem Präparat in der Kniekehle angedrückt wird, brückt man den Nerven über die Elektrodenpaare hin, und schützt ihn vor Trockniss durch eine darüber gedeckte Glasplatte. Da indess der mit Wassergas zu sättigende Raum hier grösser ist als bei der Reizungsröhre, so wird ein feuchter Fliesspapierstreif

kommt, ist es misslich, den Wechsel aus freier Hand vorzunehmen, und sehr erwünscht, ihn mechanisch mit Einem Schlage ausführen zu können.

Hr. Wild hat bereits, zu einem anderen Zweck, eine Wippe beschrieben, die letzteres leisten würde.[1]) Sie lässt im Princip auf zwei in bestimmter Art verbundene Pohl'sche Stromwender sich zurückführen, und in der That erreicht man dasselbe mittels zweier solcher Stromwender ohne Kreuz, die auf gemeinsamer Grundlage so befestigt sind, dass die Axen ihrer Wippen in Einer Geraden liegen, und die Wippen in Einem Stücke sich bewegen. Schon in meinem Aufsatz „Ueber nicht polarisirbare Elektroden"[2]) habe ich diese Anordnung schematisch abgebildet. Sie diente mir damals um abwechselnd die Bussole und den Rheostat von gleichem Widerstande beziehlich in den ursprünglichen und den secundären Kreis einzuschalten, und umgekehrt. Jetzt habe ich die Doppelwippe als fertiges Instrument im Laboratorium vorräthig. Sie besteht aus zwei Pohl'schen Stromwendern, die in der angegebenen Art auf ein Grundbrett geschraubt sind. Ihre Wippen sind mittels eines isolirenden Verbindungsstückes gekuppelt, lassen sich aber auch von einander trennen, und die Stromwender selber können vom Grundbrett entfernt und einzeln gebraucht werden. Eine Flügelschraube befestigt das Grundbrett auf dem Tische. Die vier Klemmen auf der einen Seite der gemeinschaftlichen Axe sind Doppelklemmen, um in jeder die beiden Drähte einspannen zu können, deren Nothwendigkeit für den vorliegenden Zweck aus der angeführten Figur erhellt, und die in Hrn. Wild's Wippe durch das Doppelkreuz dauernd ersetzt sind.

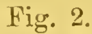
dem Boden des Troges unter den Elektrodenpaaren entlang gelegt. Die vier Elektrodenpaare liegen in der richtigen Entfernung vom Schnabel, um an mittellangen Nerven die Versuche über verschiedene örtliche Erregbarkeit, deren Aenderung beim Absterben und im Elektrotonus, u. d. m., anzustellen. Mittels eines Kugelgelenkes lässt sich dem Rosenthal'schen Trog in gewohnter Art jede erforderliche Lage im Raum ertheilen.

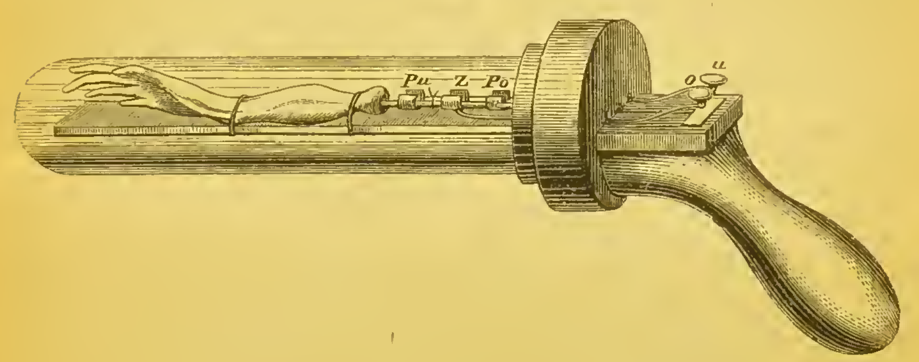
1) Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. 2. Jahrgang. 1857. S. 230.

2) Monatsberichte der Berliner Akademie. 1859. S. 453.

III. Die Froschpistole.

Die Hemmung des im Nerven sich fortpflanzenden Reizes durch Zerstören des organischen Gefüges, z. B. durch Unterbinden des Nerven, einer grösseren Versammlung überzeugend darzulegen, ist nicht so leicht, wie es scheinen mag. Ich habe vor langer Zeit eine Vorrichtung beschrieben, die durch blossen Druck auf einen Hebel, ohne Zerrung und Verrückung, einen


Fig. 2.



Nerven unterbindet.[1]) In Verbindung mit dem Zuckungstelegraphen [2]) erlaubt sie sehr schön zu zeigen, dass Reizung oberhalb des Unterbandes unwirksam, unterhalb wirksam ist.[3]) Allein die zunächst Sitzenden ausgenommen muss die Versammlung auf Treu und Glauben sich erzählen lassen, was geschah, den sinnlichen Eindruck der Thatsache erhält sie nicht.

Diesem Mangel hilft die in Fig. 2 dargestellte Vorrichtung ab, die meine Zuhörer die Froschpistole nennen. Ein stromprüfender Schenkel ist auf einem Spiegelglasstreifen befestigt, der in die der Revolvertrommel entsprechende Holzscheibe an der Froschpistole gekittet ist. Ueber dem Streifen schweben, durch Drähte, welche die Holzscheibe durchbohren,

1) Untersuchungen über thierische Elektricität. Bd. II. Abth. I. 1849. S. 341. Taf. III. Fig. 109. 110. A. B.

2) Beschreibung u. s. w. S. 141.

3) Proceedings of the Royal Institution of Great Britain. April 13, 1866. E. du Bois-Reymond, On the Time required for the Transmission of Volition and Sensation through the Nerves.

getragen, und zum Empfang des Nerven bestimmt, hintereinander drei Elektroden. Die unterste, dem Knie zunächst gelegene, P_u, besteht aus Platin, die mittlere Z aus Zink, die oberste P_o wieder aus Platin. Die Elektroden sind so gebogen, dass sie eine Rinne bilden, aus welcher der Nerv bei keiner Stellung der Vorrichtung herausgleiten kann. Zwischen Z und P_u ist der Nerv unterbunden. Wird Z mit P_o metallisch verbunden, so erfolgt also keine Zuckung; Z mit P_u dagegen gibt Zuckung. Ein aufgeschraubtes Glasrohr schützt das Präparat vor Trockniss. Die Verbindungen werden aussen durch Druck auf zwei federnde Elfenbeinknöpfe bewirkt, die beziehlich mit *o* (oberhalb) und *u* (unterhalb des Unterbandes) bezeichnet sind. Wenn man die Vorrichtung wie eine Pistole am Kolben ergreift, trifft der Daumen gerade auf die Knöpfe. Ist der Frosch gut leistungsfähig, so kann die Vorrichtung durch hundert Hände gehen, ohne dass Zuckung zu erscheinen aufhört. Da die Leitungen dem Blick offen liegen, wird so jedem Einzelnen die Möglichkeit gewährt, von der Grundwahrheit der allgemeinen Nervenphysik durch Anschauung sich zu überzeugen.

Auf den Umstand, dass der Strom in der unteren Strecke ab-, in der oberen aufsteigt, kommt es an dieser Stelle des Vortrages noch nicht an. Mit drei Elektroden aus zwei Metallen sind natürlich mancherlei Combinationen möglich, ausser obiger noch fünf. Die ausgenommen, wo Platin in der Mitte, Zink oben und unten sich befindet, und wobei auch der Strom in beiden Strecken umgekehrt fliesst, haben sie alle den Nachtheil, dass bei Reizung oberhalb des Unterbandes der Strom der doppelt so langen Nervenstrecke wegen fast zweimal schwächer ist als bei Reizung unterhalb, so dass auch so die Reizung nicht beidemal, bis auf das Unterband, in einerlei Art geschieht.

IV. Das Federmyographion.

Die Myographien zerfallen wesentlich in zwei Klassen.[1]) Die erste Klasse umfasst die beschleunigt oder stetig rotirenden

1) Das Pflüger'sche Myographion, welches gleichsam nur ein Helmholtz'sches Myographion mit stillstehendem Cylinder ist, kommt hier nicht in Betracht.

Myographien. Der Art sind das ursprüngliche Helmholtz'sche Myographion mit meinen Aenderungen,[1]) das Valentin'sche Kreisscheiben-Myographion,[2]) und das Thiry'sche Myographion, in welchem, nach Foucault's Vorgange bei seinen Lichtgeschwindigkeitsmessungen, eine Sirene das Uhrwerk ersetzt.[3])

Diese Myographien leiden an mehreren principiellen Fehlern. Erstens darf der Stift erst kurz vor der Zuckung der Zeichenfläche angelegt werden, was nur durch verwickelte Vorkehrungen gelingt. Zweitens vergeht zu viel Zeit zwischen je zwei Versuchen. Drittens ist es zu schwer, sowohl den Zeitpunkt zu erkennen, wo die gewünschte Geschwindigkeit erreicht ist, als auch die Geschwindigkeit zu bestimmen, die im Augenblick des Versuches wirklich herrschte. Endlich viertens verwirren sich bei grösseren Geschwindigkeiten, wo sie mehr als einen Cylinderumfang einnehmen, die Myogramme in einer Art, die bei Demonstrationen sehr störend ist, aber auch bei Untersuchungen lästig fällt.

Diese Uebelstände haben die rotirenden Myographien in den Hintergrund gedrängt, und zur Erfindung der zweiten Klasse von Myographien geführt, in welchen der Zeichenfläche eine bestimmte und ausreichende Geschwindigkeit in praktisch verschwindender Zeit ertheilt, und sogleich ebenso schnell wieder genommen wird. Dies erlaubt in kurzer Frist eine grosse Zahl von Versuchen anzustellen, und da die Platte vor dem Versuche ruht, kann der Stift ihr schon vorher anliegen. Freilich lassen diese Myographien die schöne, von Hrn. Helmholtz für den Cylinder seines Instrumentes angegebene Art, die Zeichenfläche zu berussen und die Myogramme abzuklatschen, nicht zu, und man wird kaum einen Ersatz dafür darin sehen, dass sie das Projiciren der Original-Myogramme mittels der

1) Vergl. A. v. Bezold, Untersuchungen über die electrische Erregung der Nerven und Muskeln. Leipzig 1861. S. 85.

2) Grundriss der Physiologie. 4. Aufl. Braunschweig 1855. S. 529; — Die Zuckungsgesetze des lebenden Nerven und Muskels. Leipzig und Heidelberg 1863. S. 12.

3) Henle's und Pfeufer's Zeitschrift für rationelle Medicin. 3. R. Bd. XXI. 1864. S. 300.

magischen Laterne gestatten.[1]) Sie haben ferner den Nachtheil, dass mit der Geschwindigkeit der Platte deren zur Aufnahme des Myogrammes nöthige Länge wächst. Dennoch zweifle ich nicht, dass dieser Klasse von Myographien die Zukunft gehört.

Der Art sind das Atwood'sche Myographion von E. Harless,[2]) welches Hr. Jendrássik in Pest neulich wieder hervorgesucht hat,[3]) und Hrn. Fick's Pendelmyographion,[4]) welches von Hrn. Helmholtz vervollkommnet wurde,[5]) in dieser Form aber meines Wissens noch nicht beschrieben worden ist.

Die Betrachtung, dass man durch Federkraft in kleinerem Raum und kürzerer Zeit dieselbe Summe beschleunigender Kräfte zur Wirkung auf eine Masse bringen kann, als durch Fallkraft, und dies in beliebiger Richtung, führte mich zur Construction eines dritten Myographions dieser Klasse, des Federmyographions. Obschon auf den ersten Blick dies Myographion dem Fall- und dem Pendelmyographion an mechanischer Vollkommenheit nachzustehen scheint, hat es sich doch gut bewährt, und überdies besitzt es gewisse nicht zu verschmähende Vortheile.

Im Federmyographion (s. Fig. 3) wird die Zeichenplatte durch eine Sprungfeder, ähnlich der in den Knabenflinten und Zündnadelgewehren, einer wagerechten Führung gleichsam entlang geschossen. Der Platte gegenüber sind Schreibewerk und Muskelhalter eines Pflüger'schen (Helmholtz'schen) Myographions aufgestellt. Da dieser Theil der Vorrichtung, mit

1) Proceedings of the Royal Institution etc. p. 11. (1866). — Vergl. Marey, Du Mouvement dans les Fonctions de la Vie. 1868. p. 191.

2) Abhandlungen der K. Bayerischen Akademie der Wissenschaften. II. Cl. Bd. IX. Abth. II. München 1862. S. 361.

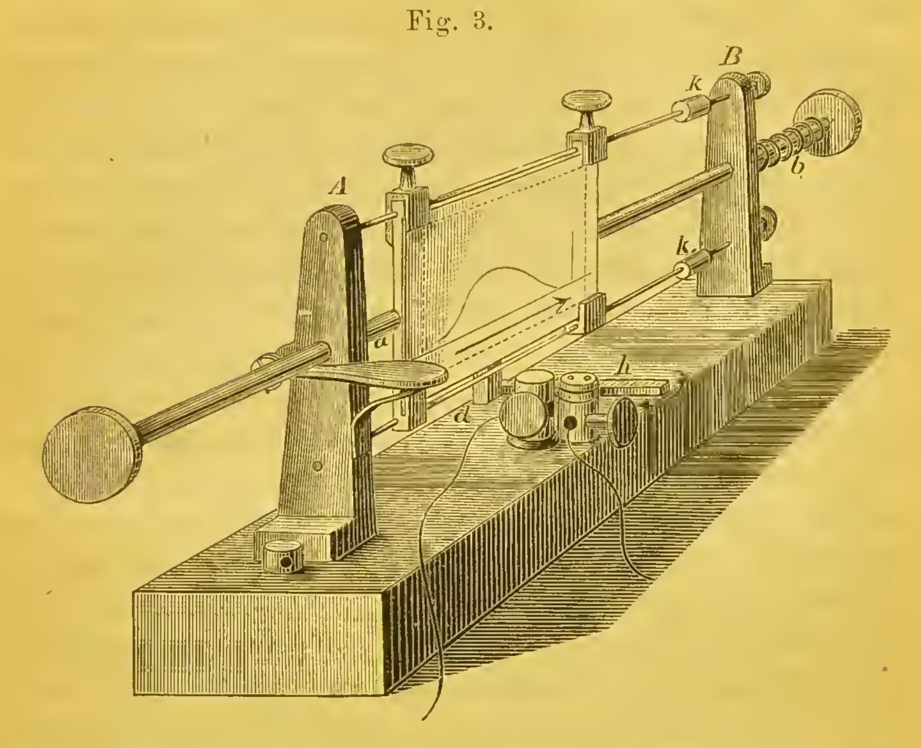
3) Fall-Myographion. Aufgestellt in der Wiener Weltausstellung in der Abtheilung für das Unterrichtswesen von Ungarn. Budapest 1873. 4°.

4) Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. 1862. S. 307; — Fick, die medicinische Physik. 2. Aufl. Braunschweig 1866. S. 86.

5) Verhandlungen der physikalisch-medicinischen Gesellschaft in Würzburg. N. F. 1872. Bd. II. S. 147.

Ausnahme der später zu beschreibenden Zuleitung für den erregenden Strom, von dem entsprechenden Theil anderer

Fig. 3.



Myographien nicht wesentlich abweicht, so blieb er in der Zeichnung fort.

Man sieht hier zunächst eine gusseiserne Schiene, auf der zwei kräftige Winkelstücke oder Ständer aus Messing *A*, *B* sich erheben. Ein leichter Messingrahmen nimmt die 160 ^{mm} lange, 50 ^{mm} breite Zeichenplatte aus 2,3 ^{mm} dickem Spiegelglas auf. Der Rahmen läuft mit möglichst wenig Reibung an zwei zwischen den Ständern *A*, *B* parallel ausgespannten Stahldrähten. Der Abstand der Ständer ist gleich der doppelten Länge des Rahmens, so dass die Platte dem Stift in ihrer ganzen Länge vorübergeht, wenn der Rahmen von Ständer zu Ständer verschoben wird. An den kurzen Seiten des Rahmens sind runde Stahlstäbe eingeschraubt, welche die von ihm zu durchlaufende Bahn etwas an Länge übertreffen, und mit möglichst wenig Reibung durch Löcher in den Ständern *A*, *B* gehen. Das Ende *b* des einen dieser Stäbe ist mit einer stählernen Sprungfeder umgeben. Indem man sie zwischen dem Ständer *B* und einem Knopf am Ende des Stabes zu-

sammendrückt, und so den Rahmen mit den Stäben von *B* nach *A*, dem Pfeil auf der Zeichenplatte entgegen (s. die Fig.), hintreibt, kommt ein Punkt, wo der am Ständer *A* sichtbare, nach oben federnde „Abzug“ in einen entsprechenden Kerb des Stabes bei *a* eingreift, und die Wiederausdehnung der Feder verhindert. Sie bleibt also gespannt, bis ein Druck auf den Abzug den Rahmen befreit, der nun mit einer von der Kraft der Feder, der Masse des Systemes, und der Reibung abhängigen Geschwindigkeit den Drähten entlang in der Richtung von *A* nach *B* oder des Pfeiles auf der Platte fliegt.

Die Geschwindigkeit wächst bis zu dem Punkte, wo die Feder ihre Ruhelage überschreitet. In der diesem Punkt entsprechenden Lage des Rahmens schlägt ein an dessen unterem Rande befindlicher Daumen *d* einen Hebel *h*, der bis dahin den Hauptstrom des Inductoriums geschlossen hielt, in der Richtung des Pfeiles in der Figur von seinem Anschlage fort, und löst so den reizenden Schlag aus. Die Figur stellt diese Lage vor. Der Hebel ist um seine Axe mit soviel Reibung drehbar, dass er, obschon in wagerechter Ebene beweglich, dem Anschlage doch fest genug anliegt, um keine ungehörigen Zuckungen zu veranlassen. Die Kraft des Rahmens ist an dieser Stelle so gross, dass der Stoss, den er durch Fortschlagen des Hebels erhält, keine merkliche Unstetigkeit seines Laufes erzeugt.[1])

1) Thiry und Hr. Meyerstein scheinen wegen der geringen Kraft ihrer Sirene hier auf Schwierigkeiten gestossen zu sein, denen sie nur durch verwickelte Hülfsvorrichtungen zu begegnen vermochten (Henle's und Pfeufer's Zeitschrift u. s. w. A. a. O. S. 302). — Hr. Fick hat an Stelle des Schlusses durch feste metallische Theile den durch Quecksilber gesetzt (Zürcher Vierteljahrsschrift, a. a. O. S. 312). Ich halte dies für keine Verbesserung, da das Austauchen der Spitze gewiss nicht immer bei derselben Stellung der pendelnden Platte erfolgt. Viel eher war dies der Grund des Misslingens seiner Versuche über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung, als, wie er meint, die zu geringe Grösse seiner Frösche, deren Nerven denen norddeutscher Frösche ja nur um $^1/_5$ an Länge nachstanden (a. a. O. S. 317). — Hr. Marey, der sich das Verdienst erwarb, die Myographie nach Frankreich zu verpflanzen und nach mehreren Richtungen auszudehnen, hat sich einer neuen Art bedient, die Reizung zu erzeugen und deren

Von hier nimmt die Geschwindigkeit des Rahmens wegen der Reibung ab. Bei Anwendung stärkerer Federn langt er aber noch mit mehr oder weniger Geschwindigkeit am Ständer *B* an, und es handelt sich darum, diese Geschwindigkeit unschädlich zu machen, namentlich zu verhüten, dass der Rahmen zurückspringe, da er dann den Stift unter stumpfem Winkel trifft und ihm einen heftigen Stoss ertheilt. Das Mittel hierzu ist sehr einfach. Auf die Führungsdrähte sind Korke *k, k,* aufgezogen und daran mit Reibung verschiebbar. Diese dienen als Bremsen. Je nach der Geschwindigkeit des Rahmens entfernt man sie mehr oder weniger vom Ständer *B.* In der Ueberwindung ihrer Reibung an den Drähten erschöpft sich harmlos die Kraft des Rahmens.

Es fragte sich, ob, bei dem Spiele, das den Führungsdrähten in den Löchern des Rahmens gelassen werden muss, die Führung treu genug sein würde, damit nicht durch Aussetzen des Stiftes Lücken in der Zeichnung entständen. Wirklich lag hierin eine Schwierigkeit, so lange, wie es am Helmholtz'schen Schreibewerke der Fall ist, das Andrücken des Stiftes an die Platte der Fallkraft anvertraut wurde. Diese Schwierigkeit verschwand aber, seit Hr. Prof. Bernstein, der in meinem Laboratorium mit dem Federmyographion arbeitete, statt der Schwere Federkraft, zunächst die eines Kautschukbändchens, anwandte. Auch hier kommt in Betracht, dass Elasticität in kleinerem Raum und kürzerer Zeit dasselbe leistet, wie Schwere. Hr. Fick hat schon zu demselben Kunstgriff Zuflucht genommen.[1]

Unter einerlei Umständen entworfene Myogramme decken sich am Federmyographion so vollkommen, wie an anderen

Augenblick zu verzeichnen. Er reizt durch Schluss einer Kette, und lässt einen Hebel, durch dessen Berührung der Schluss geschieht, auf der Zeichenfläche den Augenblick der Berührung angeben. (*Du Mouvement dans les Fonctions de la Vie,* p. 422 et suiv.) Hr. Marey sagt nicht, was ihn bewog, dies umständliche und in mehrfacher Beziehung bedenkliche Verfahren an Stelle des so einfachen und ganz untadligen Helmholtz'schen Kunstgriffes zu setzen. In Deutschland hielten wir letzteren stets für eine der glücklichsten Eingebungen des Erfinders des Myographions.

1) Zürcher Vierteljahrsschrift, a. a. O. S. 315. 316.

Myographien. Eine Ausnahme machen nur die letzten Stadien der Zuckung bei kleiner Anfangsgeschwindigkeit, wo die Hemmung durch die Reibung nicht stets genau gleich verläuft. Doch kommt auf diese Stadien nur selten etwas an. Denselben Fall ausgenommen, lassen auch Stimmgabelcurven von einem Male zum anderen keinen Unterschied erkennen.

Was die am Federmyographion erreichbare Geschwindigkeit der Zeichenfläche betrifft, so erfüllte sich meine Erwartung vollständig. Die Triebfeder des Myographions lässt sich leicht wechseln. Ich habe deren drei, die, mit einer König'schen Unterbrechungsgabel von 128 Doppelschwingungen (Ut_2) geprüft, folgendes Ergebniss liefern.

Die Maximalgeschwindigkeit, bei der die Reizung geschieht, ist für

Feder	I.	1088	Mm.
„	II.	1536	„
„	III.	2522	„

in der Secunde. Mit letzterer Feder sinkt die Geschwindigkeit bis zu ihrer Vernichtung durch die Bremskorke im Verhältnisse von 1 : 0,87; mit Feder II in dem von 1 : 0,58; mit Feder III bleibt die Platte vor den schon ganz an den Ständer geschobenen Korken stehen.

Nimmt man 27 M. in der Secunde als Geschwindigkeit der Reizung im Nerven an, so betrüge bei obigen Geschwindigkeiten, und bei 50^{mm} Abstand der Reizstellen, der horizontale Abstand der Zuckungscurven beziehlich 2,0; 2,8; 4,7^{mm}. Um durch Fallkraft diese Geschwindigkeiten zu erzeugen, bedarf es im leeren Raum einer Fallhöhe von beziehlich 60,3; 120,3; 324,3^{mm}. Damit ein mathematisches Pendel von 1000^{mm} Länge beim Durchgang durch die Ruhelage diese Geschwindigkeiten erlange, muss es aus Ablenkungen von beziehlich etwa 20; 28; 42° fallen. Die dazu gehörigen Bogenlängen sind beziehlich etwa 175; 244; 366^{mm}. Mehr als doppelt so lang müssten, im Bogen gemessen, die Zeichenplatten sein, damit der Stift ihnen schon in der Ruhe anliegen könnte. Noch beträchtlicher wären am Atwood'schen Myographion die zur Erzeugung derselben Geschwindigkeiten nöthigen Fallhöhen, da, um die Geschwindigkeit constant

zu erhalten, die Fallhöhe in dem Verhältniss vergrössert werden muss, in welchem die Beschleunigung durch Vertheilung auf grössere Masse verkleinert ist. Auch hier wäre also eine sehr unbequeme Länge der Platte nöthig, damit der Stift schon in der Ruhe ihr anliegen könnte. Freilich beschränkt sich Hr. Jendrássik an seinem Fallmyographion auf eine Geschwindigkeit von 909mm, und er wagt es, die heranrollende Platte den Stift mit abgeschrägtem Rande treffen und bis in ihre Ebene zurückschieben zu lassen,[1]) was ich für sehr bedenklich halte. Hr. Fick seinerseits hat eine Hülfsvorrichtung ersonnen, um bei Geschwindigkeiten, die eine Ablenkung des Pendels über 15° verlangen, die Platte selber den Stift sich anlegen zu lassen.[2]) Die Nothwendigkeit solcher Verwicklung warfen wir gerade den rotirenden Myographien als principiellen Fehler vor. Nach dem Allen kann kein Zweifel sein, dass in Bezug auf die Leichtigkeit und Bequemlichkeit, womit grosse Geschwindigkeiten der Zeichenfläche sich erzeugen und verwenden lassen, das Federmyographion oben ansteht.

Leider muss nun aber bemerkt werden, dass wenigstens bei der dem ursprünglichen Helmholtz'schen Myographion entlehnten Einrichtung des Schreibewerkes mit den grossen Geschwindigkeiten nicht soviel gewonnen ist, wie man von vornherein zu glauben geneigt sein könnte. Ganz neu ist diese Einsicht wohl nicht; doch überraschte wenigstens mich das Ergebniss der folgenden Erwägungen, deren Mittheilung daher vielleicht nicht überflüssig erscheint.

Eine Sache für sich ist es, dass bei grossen Geschwindigkeiten am Federmyographion der dieser Klasse von Myographien eigene Uebelstand (s. oben S. 598) hervortritt, dass nämlich die Platte, um Raum für das Myogramm zu bieten, übermässiger Länge bedarf, wozu noch kommt, dass in demselben Maass ihre Bahn verlängert werden muss. Mit Feder I erhält man an dem jetzigen Modell vollständige Myogramme. Mit Feder II reicht die Curve schon kaum bis an das Maximum.

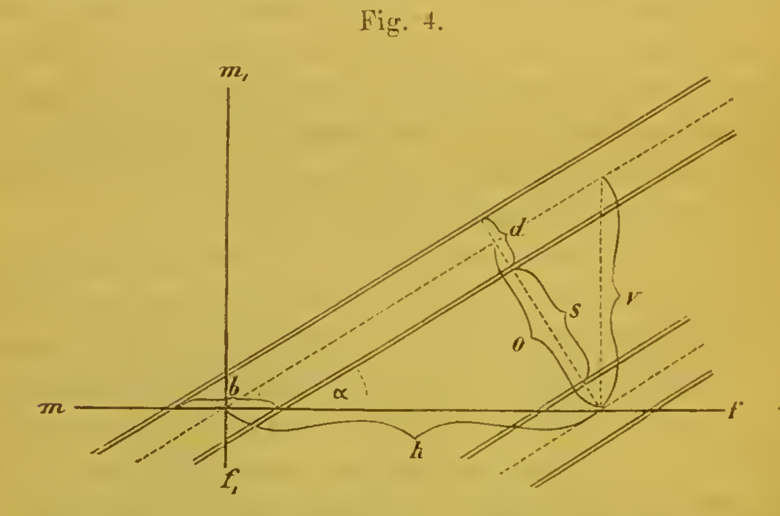
1) Fall-Myographion u. s. w. S. 7. 8.
2) Zürcher Vierteljahrsschrift, a. a. O. S. 314. 315.

mit Feder III sieht man nur ihren Anfang. Um für eine gewöhnliche Curve sicher Raum zu bieten, müsste bei der durch Feder III der jetzigen Platte ertheilten Geschwindigkeit die Platte $0{,}15 \times 2500 = 375^{\text{mm}}$ lang sein,[1]) wobei freilich die Abnahme der Geschwindigkeit durch Reibung nicht in Anschlag gebracht ist. Immer würde die nöthige Plattenlänge auch hier Schwierigkeiten bereiten.

Der Punkt, um den es sich hier hauptsächlich handelt, ist aber folgender. Nähere Ueberlegung lehrt, dass mit dem jetzigen Schreibewerke Steigerung der Geschwindigkeit über ein gewisses äusserst geringes Maass, abgesehen von den dadurch bedingten Nachtheilen, auch nicht einmal mehr Vortheil bringt. Merklich vergrössert werden dadurch weder mehr der scheinbare Abstand zweier congruenten Curven, noch die Genauigkeit, womit deren wahrer Abstand sich messen lässt.

Um dies klar zu machen, denken wir uns zwei congruente Curvenstücke, etwa aus der Mitte des Stadiums der steigenden Energie, als zwei gerade, parallele, von geraden parallelen Rändern begrenzte Streifen, deren Richtung mit der Richtung der Abscissenaxe den Winkel α bildet (s. Fig. 4). In der Figur ist jeder der Streifen, um ihn deutlicher hervortreten zu

Fig. 4.



lassen, durch Doppellinien begrenzt. Von der unregelmässigen Beschaffenheit der Ränder, welche in Russ gezogene Furchen

1) Vergl. H. Munk's Messungen im Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1860. S. 814.

unter dem Mikroskop darbieten, sehen wir ab. Die Dicke der Striche, oder die von Rand zu Rand senkrecht gemessene Breite der Streifen, sei d; ihr von Mitte zu Mitte gemessener orthogonaler, horizontaler, verticaler Abstand beziehlich o, h, v. v ist der Weg, den in diesem Zuckungsstadium der Stift in der constanten kleinen Zeit τ durchläuft, in der die Reizung von der oberen zur unteren Reizstelle gelangt, und also ein Punkt der Zeichenfläche den Weg h zurücklegt. Die Geschwindigkeit der Zeichenfläche heisse C, die des Stiftes, die wir vorläufig uns als gegeben denken, C_1. Man hat

$$C = \frac{h}{\tau}, \quad C_1 = \frac{v}{\tau}, \quad \frac{C_1}{C} = \frac{v}{h} = tg\,\alpha,$$

und folglich

$$o = \tau\, C_1 \cdot \frac{C}{\sqrt{C^2 + C_1{}^2}} \quad \ldots \; (*)$$

Man sieht sogleich, dass für $C = \infty$ der Quotient $C : \sqrt{C^2 + C_1{}^2}$, den wir kürzehalber Q nennen, $= 1$, $o = v$, $\alpha = 0^0$ wird; die Curven fallen zusammen mit der Abscissenaxe. Für $C = C_1$ ist

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707,$$

für $C = 5C_1$ aber schon $= 0{,}981$; und da Q die Einheit zur Grenze hat, folglich von $C = 5C_1$ bis zu $C = \infty$ nur noch um etwa 0,02 wachsen kann, so ist deutlich, dass Steigerung von C über $5C_1$ hinaus o nicht merklich vergrössert.

Der scheinbare Abstand s der Curven, auf den es bei Demonstrationen vorzüglich ankommt, ist der orthogonale Abstand der einander zugekehrten Ränder der Curvenstriche (s. die Fig.). s ist $= o - d$; die Curven verschmelzen, wenn $d = o$. Durch Steigerung von C über $5C_1$ hinaus wird also s nicht merklich vergrössert, und nach dieser Seite kein Vortheil erreicht.

Ist $C = 5C_1$, so ist $tg\,\alpha = 0{,}2 =$ etwa $tg\,12^0$. Myogramme, die am Helmholtz'schen Myographion bei einer Geschwindigkeit von etwa 500^{mm} gezeichnet wurden, lassen im Stadium der steigenden Energie bei fast geradem Verlaufe der Curve eine Neigung von etwa 12^0 gegen den Horizont erkennen. Eine Geschwindigkeit von etwa 500^{mm} genügt also, um

den grössten scheinbaren Abstand der Curven zu erhalten, der bei der jetzigen Einrichtung möglich ist.

Der wahre Abstand der Curven h wächst zwar unbegrenzt mit C, nicht aber die Genauigkeit G, mit der h sich messen lässt, und auf die es bei Untersuchungen ankommt. Nehmen wir an, ein verschwindend dünner, horizontaler Mikrometerfaden mf durchschneide das Curvenbild, und nennen wir die Breite, in der dies für jeden der Curvenstriche geschieht, b. (S. die Fig.) Denken wir uns ferner das Bild durch eine Mikrometerschraube dem Faden mf entlang bewegt und die Messung von h dadurch bewirkt, dass der Kreuzungspunkt von mf mit dem verticalen Faden $m_, f_,$ möglichst genau auf die Mitte von b, erst an der einen, dann an der anderen Curve, eingestellt werde. Der bei solcher Einstellung begangene mittlere Fehler ist nach Hrn. Fechner und Hrn. Volkmann der zu hälftenden Grösse proportional.[1]) Da die Fehler eben so gut positiv wie negativ sein können, hat man

$$G = k \cdot \frac{h}{b} = k \cdot \frac{o}{d},$$

wo k eine persönliche Constante. Die Genauigkeit der Messung des wahren Abstandes ist proportional dem orthogonalen Abstande der Curven dividirt durch ihre Dicke, und erreicht also in Wirklichkeit mit wachsender Geschwindigkeit ebenso früh eine Grenze, wie der scheinbare Abstand. Bei anderen Messungsmethoden und mit Berücksichtigung der Unregelmässigkeit der Ränder und der Dicke der Mikrometerfäden oder -Striche, gestalten sich die Dinge etwas anders, insofern der mittlere Fehler nicht mehr einfach b proportional ist; im Wesentlichen wird bei allen das Ergebniss dasselbe sein.

Die Erfahrung bestätigt diese Schlüsse. Mit Feder II und III erhält man, abgesehen davon, dass die jetzige Platte nicht reicht, um das Myogramm vollständig aufzunehmen, keinen grösseren scheinbaren Abstand der Curven, und keine besseren Messungen ihres wahren Abstandes, als mit Feder I. Eine Geschwindigkeit, wie die durch diese Feder erzeugte, möchte am Fall- und Pendelmyographion freilich nur als Grenzge-

1) Elemente der Psychophysik. Bd. I. Leipzig 1860. S. 211 ff.

schwindigkeit zu erreichen sein. Aber auch diese Geschwindigkeit ist nach Obigem schon überflüssig gross, und dafür hat das Fallmyographion den Vorzug fast unverzerrter Bilder, das Pendelmyographion den höherer mechanischer Vollkommenheit.

Die wahre Ueberlegenheit des Federmyographions liegt daher vorläufig nicht in der grossen Geschwindigkeit der Zeichenfläche, sondern erstens in seiner Einfachheit. Ein Blick auf Fig. 3 genügt, um zu zeigen, wie weit es hierin alle anderen Myographien übertrifft. Es nimmt zugleich weniger Raum ein als das Fall- und als das Pendelmyographion. Nach Entfernung des einen Stahlstabes beherbergt ein Glassturz von 47 ^{cm} Länge. 22 ^{cm} Breite und 40 ^{cm} Höhe den ganzen Apparat nebst einer unten noch zu beschreibenden Hülfsvorrichtung. Eine Folge dieser Einfachheit und geringen Ausdehnung ist die Wohlfeilheit des Federmyographions. Während aber zweitens andere Myographien, meist an eigens dazu vorbereitetem Orte, sorgfältig aufgestellt und justirt sein wollen, ist das Federmyographion jederzeit und überall, in wenigen Minuten auf jedem Tische, versuchbereit. Diese Schlagfertigkeit empfiehlt es besonders für Vorlesungen und Reisende. Auch habe ich damit schon 1866 in der *Royal Institution* der durch Faraday und Hrn. Tyndall verwöhnten Zuhörerschaft der *Friday Evening Lectures* von zwei Reizstellen aus erzeugte Myogramme vorgeführt, die mein Freund Tyndall die Güte hatte, mittels der Dubosq'schen Elektrolampe auf einen Schirm zu projiciren. (S. oben S. 597. 598.)

Sind aber auch die am Federmyographion erreichbaren Geschwindigkeiten unter den bisherigen Voraussetzungen unnütz. so zeigen doch unsere Formeln einen Weg, auf dem wenigstens eine höhere Geschwindigkeit als von $5C_1$ noch gut zu gebrauchen sein würde. Zunächst bestätigen die Formeln, was ohnehin einleuchtet, dass sowohl der scheinbare Abstand der Curven wie die Genauigkeit der Messung ihres wahren Abstandes mit der Dicke der Striche abnehmen, und dass man also mit möglichst feiner Spitze auf möglichst zarter Russschicht zeichnen solle. Dann aber ist an der Zeit, unser Au-

genmerk der Geschwindigkeit des Stiftes zuzuwenden, die wir bisher stets als beständig annahmen.

Formel (*) S. 605 zeigt, dass der orthogonale Abstand der Curven von der Geschwindigkeit des Stiftes in derselben Weise abhängt, wie von der der Zeichenfläche. Für $C_1 = \infty$ wird der Quotient $C_1 : \sqrt{C^2 + C_1^2}$, der Q_1 heissen mag, $= 1$, $o = h$, $\alpha = 90^0$; die Curven richten sich auf, so dass sie mit zwei um h von einander abstehenden Ordinaten zusammenfallen. Für $C = C_1$ ist $Q_1 = Q = 0{,}707$; durch einseitige Vergrösserung von C_1 über eine gewisse Grenze hinaus, wenn sie ausführbar wäre, ist für Vergrösserung von o so wenig zu gewinnen, wie durch solche von C.

Etwas anderes ist es, wenn man C und C_1 zugleich vergrössert. Ver-n-facht man C und C_1, so wird

$$o = n \tau C_1 Q = n \tau C Q_1,$$

also gleichfalls ver-n-facht. Es sei $C = C_1$, also $o = 0.707 \tau C_1$ oder $= 0{,}707 \tau C$. Werden C und C_1 verdreifacht, so wird $o = 2{,}121 \tau C_1 = 2{,}121 \tau C$, also über zweimal so gross, als hätte man die eine Geschwindigkeit unverändert gelassen, die andere unendlich gross gemacht.

Es ist aber, um in der Wirklichkeit o zu ver-n-fachen, nicht nöthig, dies mit beiden Geschwindigkeiten zu thun. Auch durch Ver-n-fachung nur der einen Geschwindigkeit wird o ver-n-facht, wenn deren n^2-faches Quadrat gegen das Quadrat der anderen vernachlässigt werden kann. Damit dies erlaubt sei, muss freilich für jedes n das Verhältniss der constant bleibenden zu der zu ver-n-fachenden Geschwindigkeit mindestens einen gewissen Werth haben. Soll z. B. durch Verfünffachung von C_1 allein o nahe verfünffacht werden, so muss schon $C = 15 C_1$, d. h. etwa $= 1500^{mm}$, oder gleich der Maximalgeschwindigkeit bei Anwendung unserer Feder II sein. Man erhält $o = 4{,}75 v$, während man allerdings $o = 4{,}99 v$ findet, wenn man bei $C = 5 C_1$, wo Vergrössern von C allein nichts mehr hilft (s. oben S. 605), C und C_1 zugleich verfünffacht, was für C etwa 2500^{mm}, d. h. die erst durch Feder III erreichbare Geschwindigkeit gäbe. Auf den Unterschied von 0,05 in der Grösse von o kommt es indess nicht an: eine

Steigerung der Geschwindigkeit der Platte von 1500 auf 2500^mm fällt dagegen sehr in's Gewicht.

Aus naheliegenden Gründen wird man in der Wirklichkeit nicht versuchen, was in der Theorie sonst auf dasselbe hinausläuft, C gegen C_1 verschwinden zu lassen. Sondern die Art, o, und somit auch s und G, ausgiebig zu vergrössern, besteht sichtlich darin, bei in obigem Sinn ausreichender Geschwindigkeit der Zeichenfläche, die Geschwindigkeit des Stiftes zu vergrössern. Innerhalb gewisser, ziemlich enger Grenzen hat dies keine Schwierigkeit. Mit Verlängerung des Schreibehebels wächst v, wenn auch nicht genau proportional. Man kann nun erstens den Hebel relativ verlängern, d. h. den Muskel seinem Drehpunkte näher anbringen, zweitens ihn absolut verlängern. Hr. Marey wendet ungleich längere Hebel als die bei uns üblichen an.[1] Auch Hr. Fick scheint den Hebel des Helmholtz'schen Schreibewerkes schon verlängert zu haben,[2] und ich glaube, dass wir in der Furcht daraus entspringender Fehler zu weit gehen. So werden also grössere Geschwindigkeiten der Zeichenfläche wieder nicht allein nützlich, sondern sogar nothwendig, und die in dieser Rücksicht dem Federmyographion zustehende Ueberlegenheit kommt schliesslich doch noch in Betracht.

Der Grundgedanke unseres Myographions, die Zeichenfläche durch Federkraft zu bewegen, lässt sich übrigens auf andere Formen dieser Fläche übertragen, und mit anderen Arten ihrer Führung verbinden. Man könnte einer pendelnden Platte durch Federkraft Geschwindigkeit ertheilen, ein Cylinder- oder Kreisscheibenmyographion mit einer Feder gleich der an der Chronometerunruhe oder an dem Fick'schen Spiralrheotom[3]) versehen u. d. m. Solche Vorrichtungen wären jeden Grades mechanischer Vollkommenheit fähig, und das Pendelmyographion könnte so eingerichtet werden, dass kleinere Geschwindigkeiten, mit kurzem Schreibehebel zu benutzen, durch Fall-

1) L. c. p. 422.
2) A. a. O. S. 309.
3) Untersuchungen über elektrische Nervenreizung. Braunschweig 1864. 4°. S. 5. — Die medicinische Physik. 2. Aufl. Braunschweig 1866. S. 425.

kraft, grössere, für den Gebrauch mit langem Hebel bestimmt, durch Federkraft erzeugt würden. Der Stift könnte dann schon der ruhenden Platte anliegen, ohne dass diese übermässig lang zu sein brauchte (vergl. oben S. 602).

An meinem Federmyographion befindet sich noch eine empfehlenswerthe Einrichtung, die, von dessen eigenthümlichem Bewegungsmechanismus unabhängig, an jedem anderen Myographion mit gleichem Vortheil angebracht werden kann. Nach demselben Gedanken, welcher der „feuchten Reizungsröhre“ und dem Rosenthal'schen Troge (s. oben S. 593) zu Grunde liegt, habe ich eine Zuleitungsvorrichtung für Versuche über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung construirt.[1]) Sie besteht aus einem länglichen Körper aus Kammmasse, der am einen Ende mit Kugelgelenk versehen, am anderen stumpf zugespitzt, und der seiner Axe nach so durchschnitten ist, dass die eine, feste Hälfte mit dem Kugelgelenk in Verbindung bleibt, die andere, bewegliche, von jener abgehoben und auf sie gelegt werden kann. Auf der ebenen Schnittfläche der festen Hälfte ruht der Nerv. Die Schnittfläche der beweglichen Hälfte ist leicht ausgehöhlt; diese Hälfte dient dem Nerven als Deckel und schützt ihn vor Trockniss. Nahe dem zugespitzten Ende, welches der Kniekehle angedrückt wird, überbrückt der Nerv ein Platinelektrodenpaar; 50^{mm} davon befindet sich ein zweites, und dahinter eine Höhlung zur Aufnahme eines Stückes Wirbelsäule. Jede Elektrode hat ihre Klemmschraube.

Schon so bietet die Vorrichtung den Vortheil, dass der Muskelhalter, der Muskel selber und die Verbindung zwischen Muskel und Hebel nicht bedeckt werden, und also sichtbar und zugänglich bleiben. Es ist aber daran noch eine Einrichtung angebracht, die sich als sehr nützlich erweist. Zwischen den beiden Elektrodenpaaren ruht der Nerv in einer Strecke von 40^{mm} auf einer wohlgefirnissten kupfernen Fläche. Sie ist die obere Wand eines in den Kammmasse-Körper einge-

1) Hr. H. Munk hat zuerst eine Zuleitungsvorrichtung mit festen, in passenden Abständen angebrachten Elektrodenpaaren für Versuche über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung angewendet. Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1860. S. 799.

lassenen kupfernen Behälters. Durch ein Kautschukrohr ist dieser mit einem Trichter verbunden, der eine Frostmischung enthält. Durch Oeffnen eines Hahnes erhält die eiskalte Flüssigkeit Zutritt zum Behälter, aus dem sie durch ein zweites Kautschukrohr entweicht. Nachdem man bei Zimmerwärme eine Curve von jeder der beiden Reizstellen aus gezogen hat, erkältet man den Nerven und wiederholt den Versuch. Man erhält nun mit Feder I einen horizontalen Abstand der Curven von 8—10^{mm}, und es gelingt so mit grösster Leichtigkeit, nicht allein die zur Fortpflanzung des Reizes nöthige Zeit, sondern auch deren Abhängigkeit von der Temperatur zu zeigen. An heissen Sommertagen bietet die Erkältung des Nerven ein willkommenes Hülfsmittel, um überhaupt deutliche Trennung der Curven zu erreichen.[1])

1) Vergl. H. Munk a. a. O. S. 816. 817.

Druck der Leipziger Vereinsbuchdruckerei.